

# Avaliação da Aplicação de Dispositivos de Manobra com Abertura Monopolar em Redes de Distribuição Trifásicas – ID 5004

**Autores:** *Heliton de Oliveira Vilibor; Ricardo Fonseca Buzo*

**Coautores:** *Giordanni da Silva Troncha; Arthur Henrique Bergamin*

**Empresa:** *Grupo CPFL Energia*

Realization:

instituto  
**abradee**



Host Company:

**CEMIG**



XXV Seminário  
Nacional de  
Distribuição de  
Energia Elétrica

**SENDI**  
**2025**  
BELO HORIZONTE

# Introdução

- Ȃñăĭ' ă r ăřțĭŭ đă ăwăĭăcbô đă ăr ĭçăcbô đă řĕĭğăđôřĕ' Țřĭr ĭă ' ĭñğĭă ħăĭ řĕđĕ' đô Ćřŭr ô ÇRĬL'.
- Ĕ' țĕ' ăř ŭĭr ăñ ăñțô' r ô' ' ĭčĭĭțăñ ă ăčĕřțŭră đă ăr ăñă' ŭñ ă đăĭ ģă' ă' đô ăř ŭĭr ăñ ăñțô, r ôțĕñçĭăĭzăñđô ă řĕđŭcbô đă ĭñđĭçăđôřĕ' đă çônțĭñŭĭđăđĕ, çôn ô ô ĐĚÇ/ĬĚÇ, đô' çĭĕñțĕ' ă ĵŭ' ăñțĕ đô r ôñțô đă çônĕyôbô.
- Ȃr ĭçăcbô ă çôn ŭñ ăñ ôŭțrô' r ăĭ' ă' , çôn ô ô' Ĕ' țăđô' Ŭñđô' , r ôřĕñ , çôn ŭñ ă çônfigŭrăcbô țĭr ĭçă đă řĕđĕ ăñ țăř çĕñțrăĭ.
- Çônțŭđô, **ř ŭăĭ ă ăr ĭçăčĭĭđăđĕ ă ĭñ r ăçțô' đĕ' țĕ țĭr ô đă ĭñ' țăĭăcbô?**

Realization:

instituto  
**abradee**

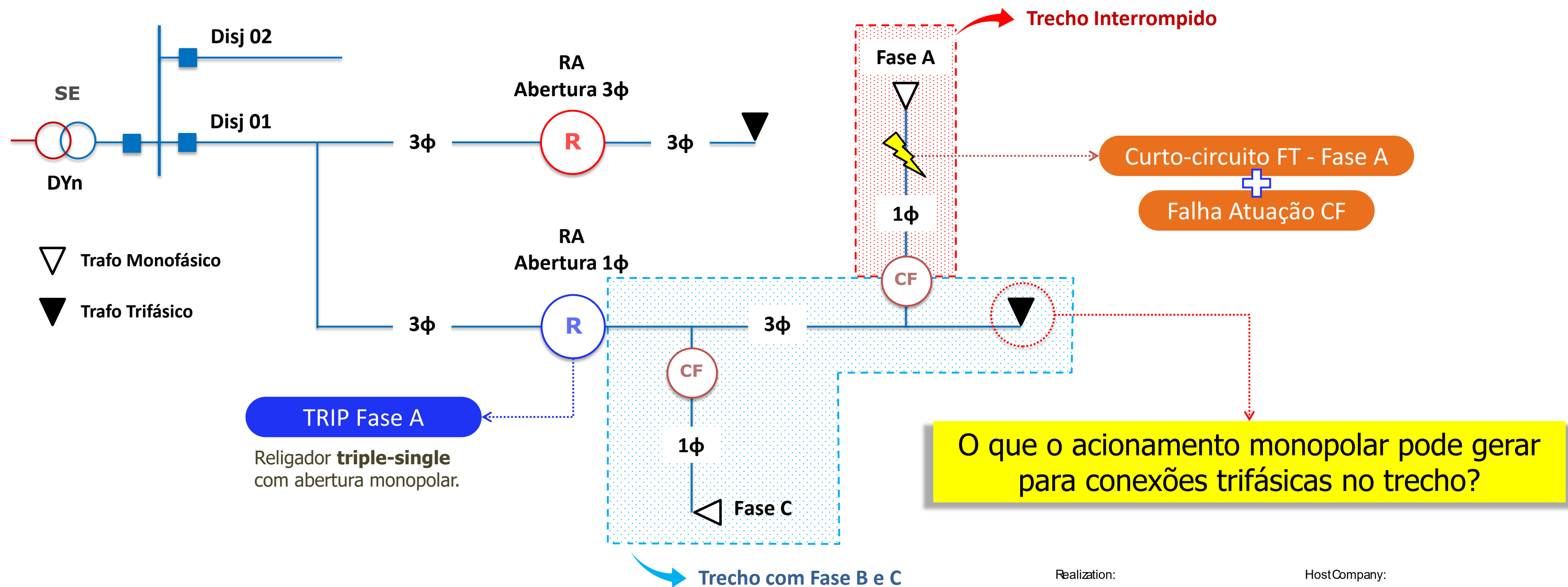


HostCompany:

**CEMIG**

# ! P l EYX i %! HBY c/d Hh

Aplicação de Abertura Monopolar em Sistemas Trifásicos



Realization:

instituto  
abradee

HostCompany:

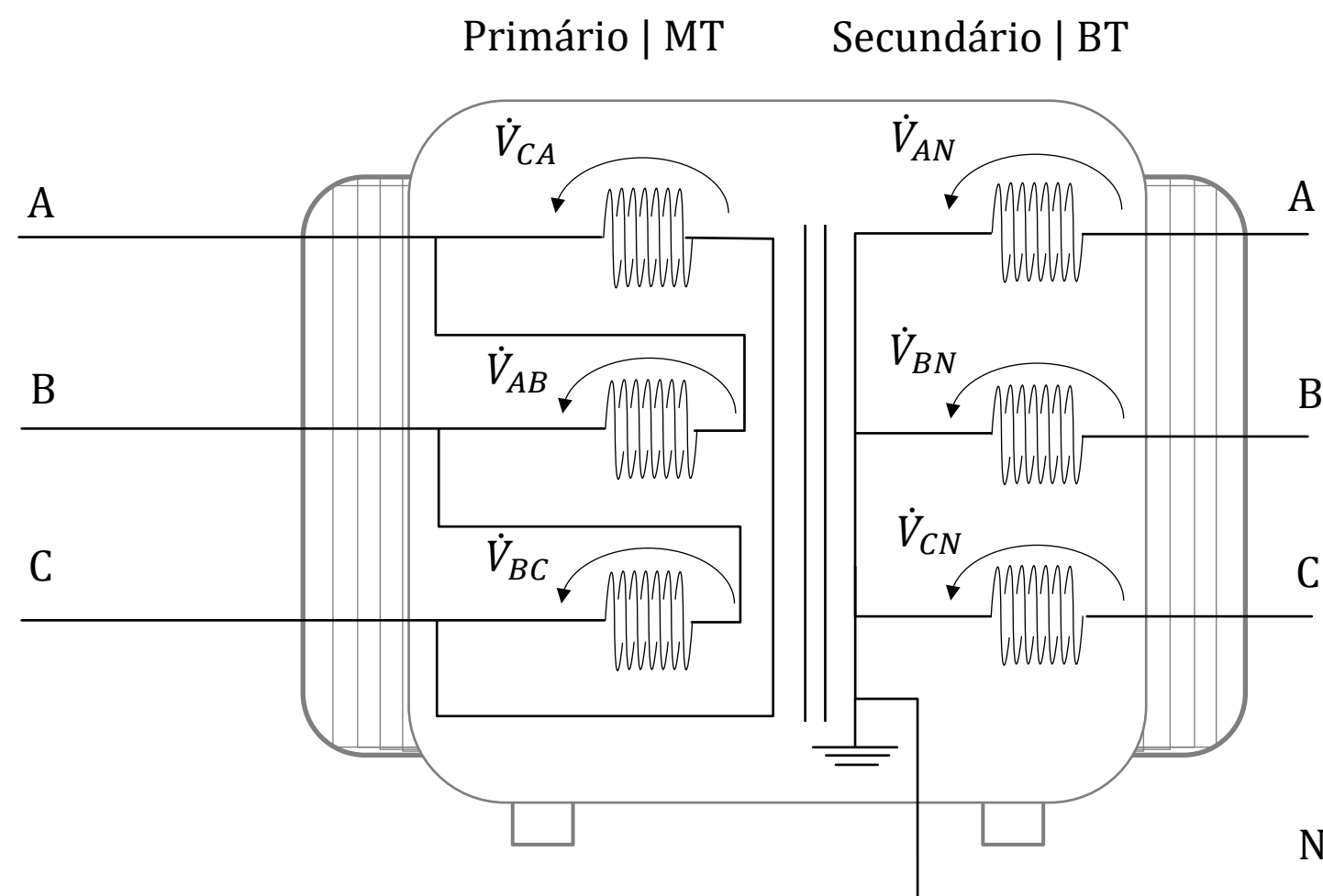
CEMIG



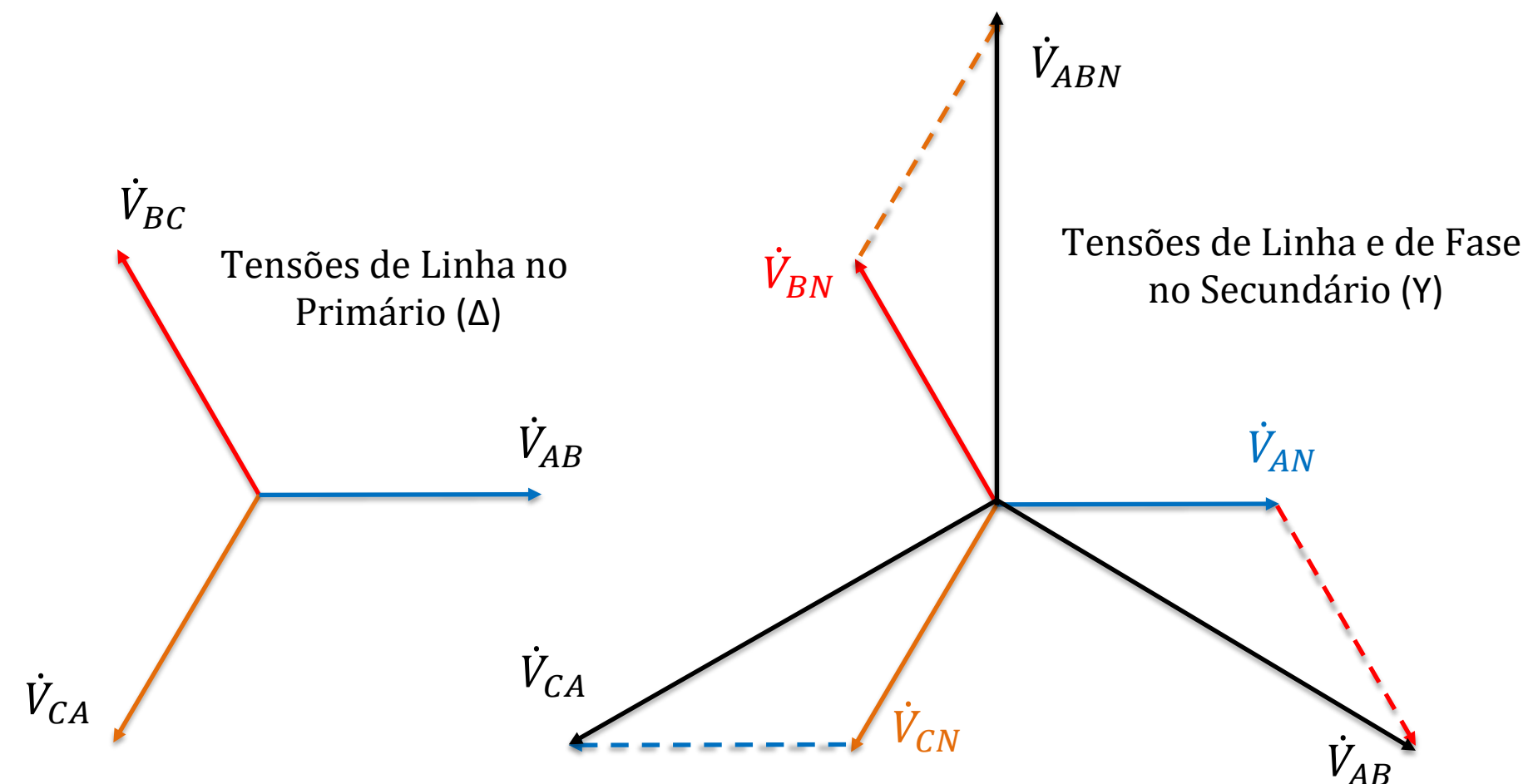
# Análise da Aplicação

Análise Matemática do Comportamento das Tensões no Primário e Secundário dos Transformadores

## CONDIÇÃO NORMAL DE OPERAÇÃO



Como a conexão do transformador é  $\Delta$ -Y, as tensões de linha do primário induzem tensões de fase nos enrolamentos secundários. Logo,  $\dot{V}_{AB}$  está em fase com  $\dot{V}_{AN}$ ,  $\dot{V}_{BC}$  está em fase com  $\dot{V}_{BN}$  e  $\dot{V}_{CA}$  está em fase com  $\dot{V}_{CN}$ .



Realization:

instituto  
abradee



HostCompany:

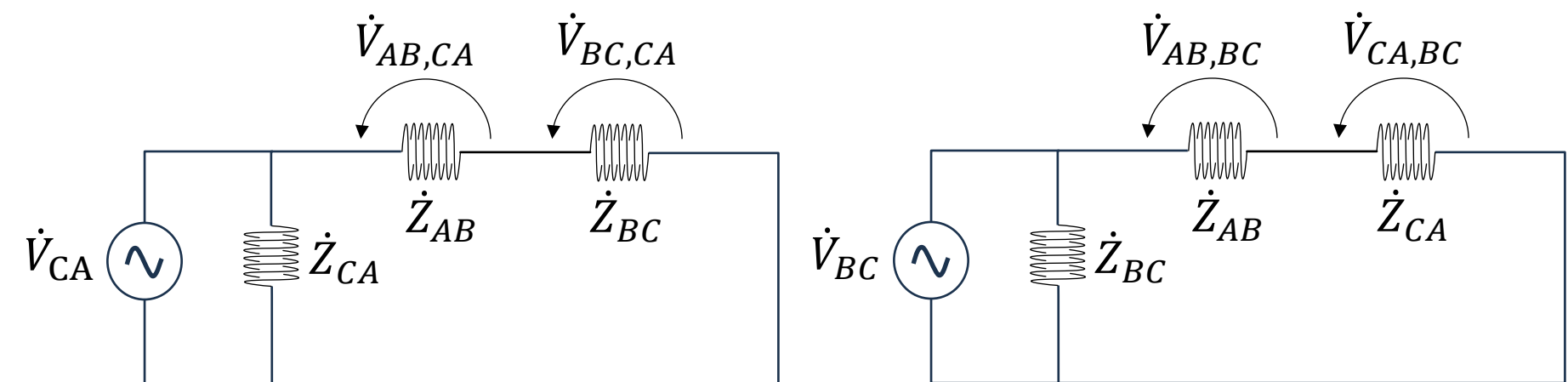
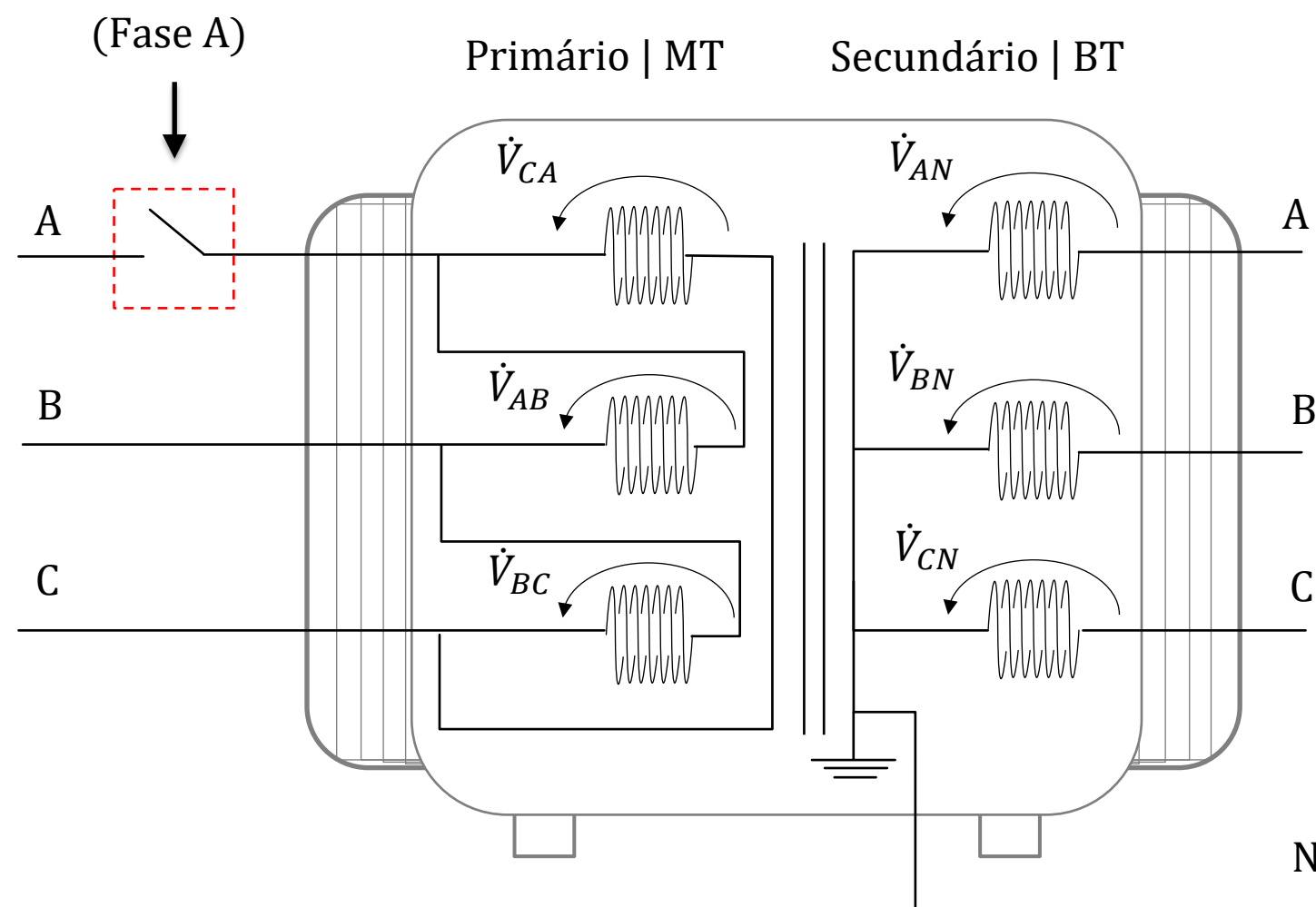
CEMIG

# ! P e EY, i %! HBY c/d Hh

Análise Matemática do Comportamento das Tensões no Primário e Secundário dos Transformadores

Aplicando o Teorema da Superposição:

## CONDIÇÃO DE ABERTURA MONOPOLAR



$$\dot{V}_{AB,CA} = \frac{\dot{V}_{CA}}{2} \quad (1)$$

$$\dot{V}_{AB,BC} = \frac{\dot{V}_{BC}}{2} \quad (2)$$

$$\dot{V}'_{AB} = \dot{V}_{AB,CA} + \dot{V}_{AB,BC} \quad (3)$$

$$\dot{V}'_{AB} = \frac{\dot{V}_{CA}}{2} + \frac{\dot{V}_{BC}}{2} \quad (4)$$

$\alpha = 1 \angle 120^\circ$  Como  $1 + \alpha^2 + \alpha = 0$ , tem-se:

$$\dot{V}'_{AB} = -\frac{\dot{V}_{AB}}{2}$$

Realization:

instituto  
abradee

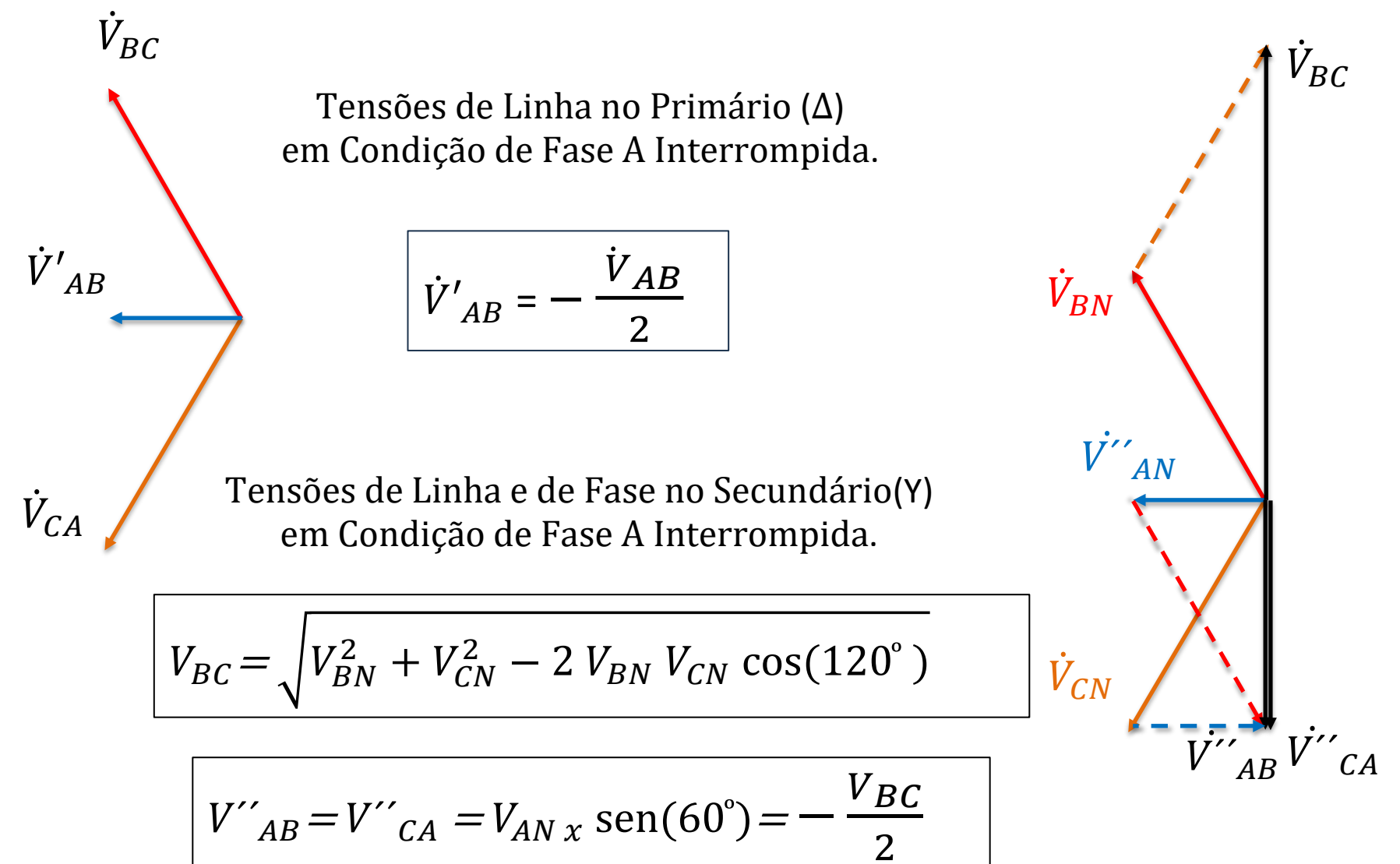


HostCompany:

CEMIG

## Análise Matemática do Comportamento das Tensões no Primário e Secundário dos Transformadores

### CONDIÇÃO DE ABERTURA MONOPOLAR



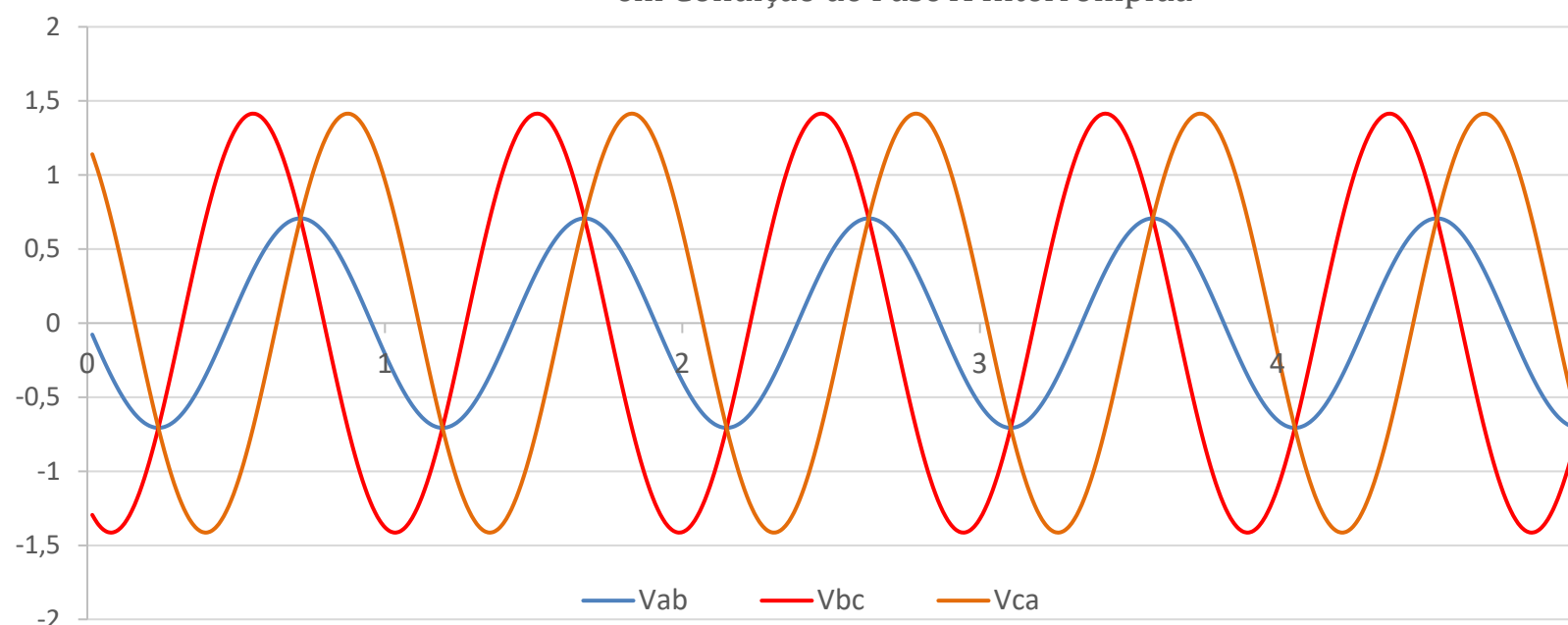
Host Company:

# Análise da Aplicação

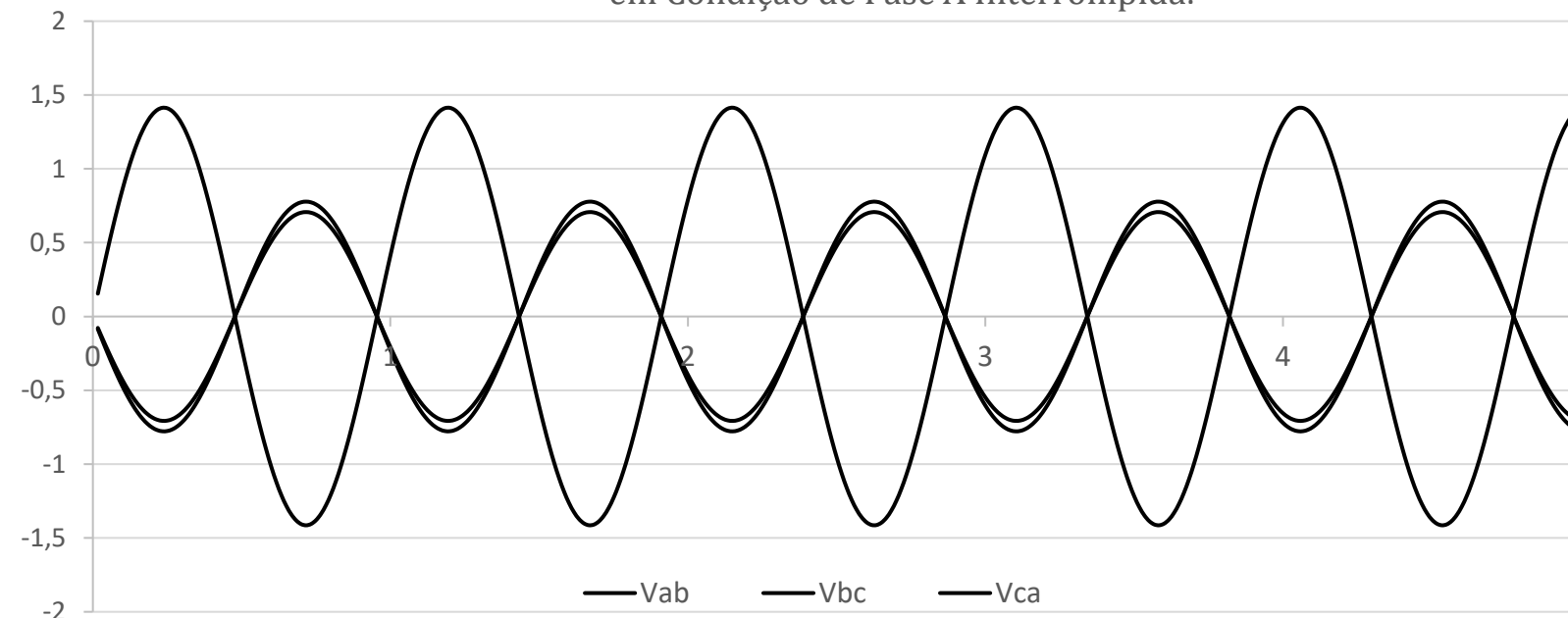
Análise Matemática do Comportamento das Tensões no Primário e Secundário dos Transformadores

## Análise no Domínio do Tempo

Tensões de Linha no Primário ( $\Delta$ )  
em Condição de Fase A Interrompida



Tensões de Linha no Secundário (Y)  
em Condição de Fase A Interrompida.



## Análise no Domínio da Frequência

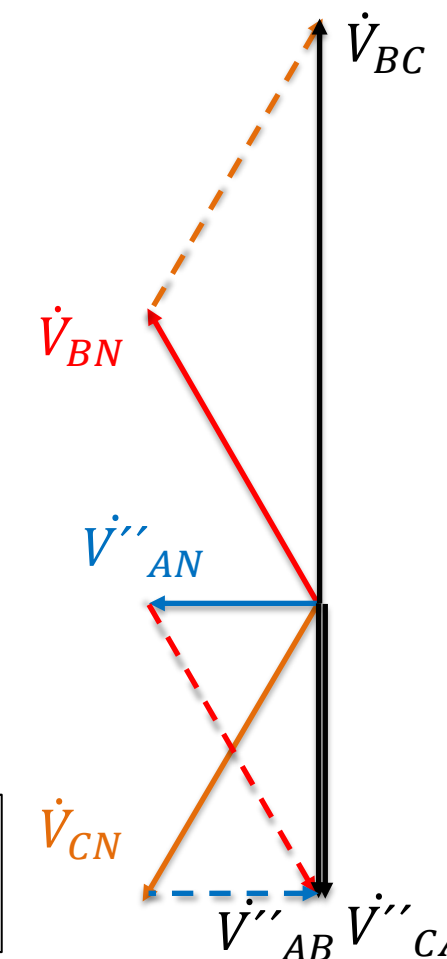
Tensões de Linha no Primário ( $\Delta$ )  
em Condição de Fase A Interrompida.

$$\dot{V}'_{AB} = -\frac{\dot{V}_{AB}}{2}$$

Tensões de Linha e de Fase no Secundário (Y)  
em Condição de Fase A Interrompida.

$$V_{BC} = \sqrt{V_{BN}^2 + V_{CN}^2 - 2 V_{BN} V_{CN} \cos(120^\circ)}$$

$$V''_{AB} = V''_{CA} = V_{AN} \times \sin(60^\circ) = -\frac{V_{BC}}{2}$$



Realization:

instituto  
abradee



HostCompany:

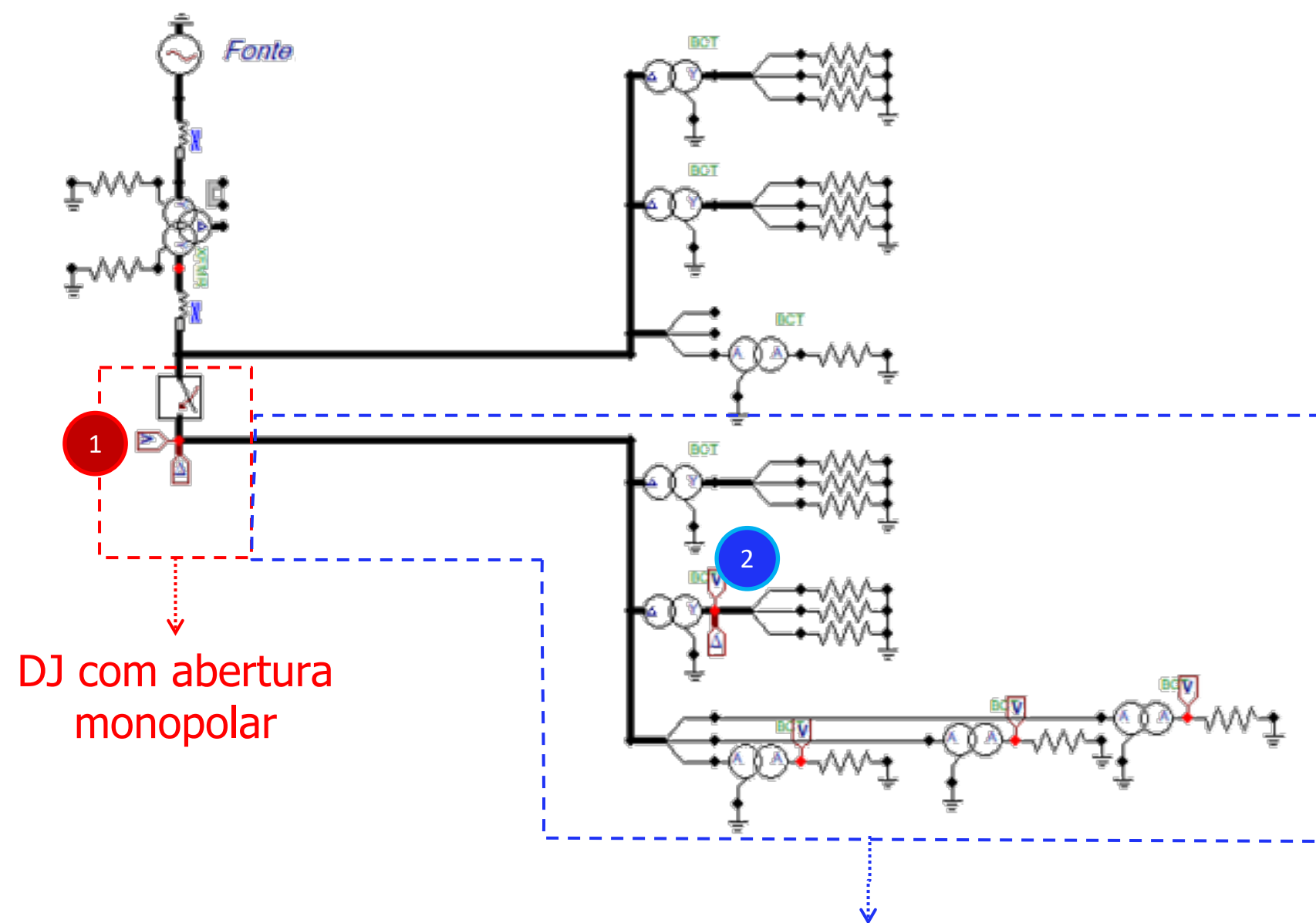
CEMIG



# ! P l EYЖ i %! HBY c/d Hh

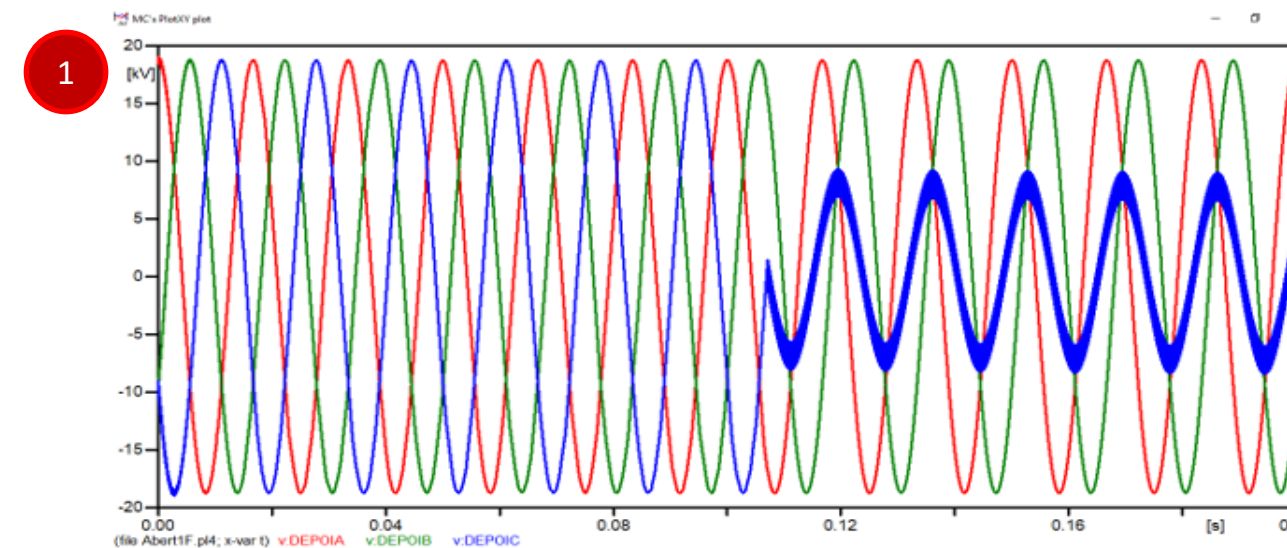
“YO BE/d Hh i h >hO Hh YO/O ! P d i %Ж! PЖS! ЖP h ΔYO l Yh ! “! I l P i l Yh i h Ж! Y/P Жh YO %d h Y Ж

Sistema modelado em ATP: Abertura de um polo do DJ. Cargas: 112,5 kVA (3F) + 75 kVA (3F) + 3 x 10 kVA (1F) depois do ponto de interrupção.

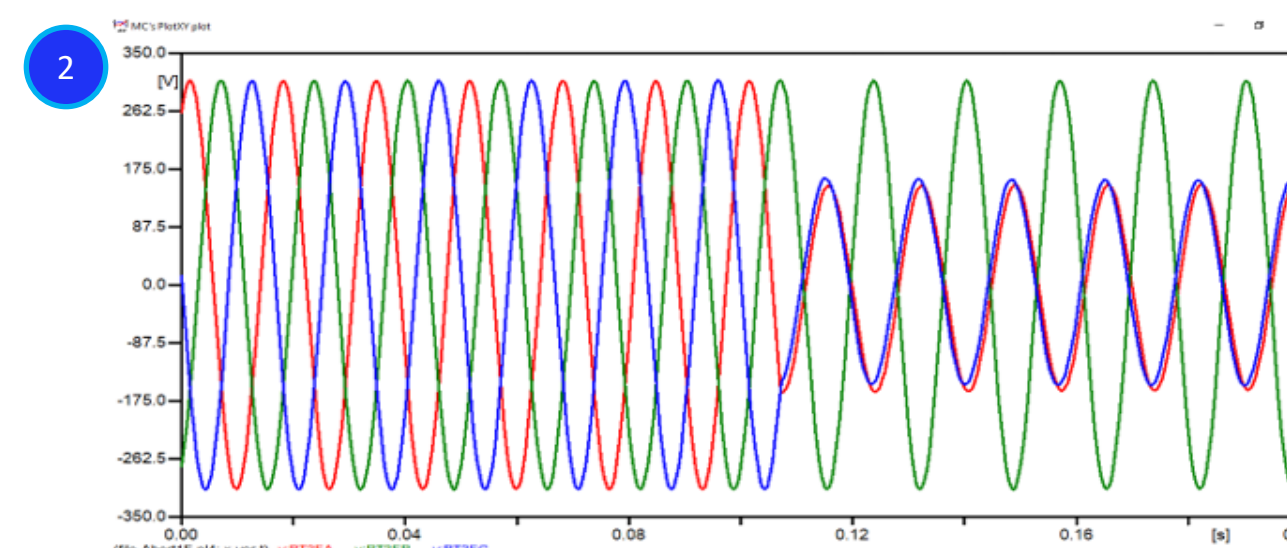


DJ com abertura monopolar

Trecho com abertura monopolar



**Tensão de fase MT:** Queda de tensão da fase interrompida de 1,00 pu para 0,50 pu



**Tensão de fase BT TR 3F Dyn:** Queda de tensão de duas fases de 1,00 pu para 0,52 pu

Realization:

instituto  
**abradee**



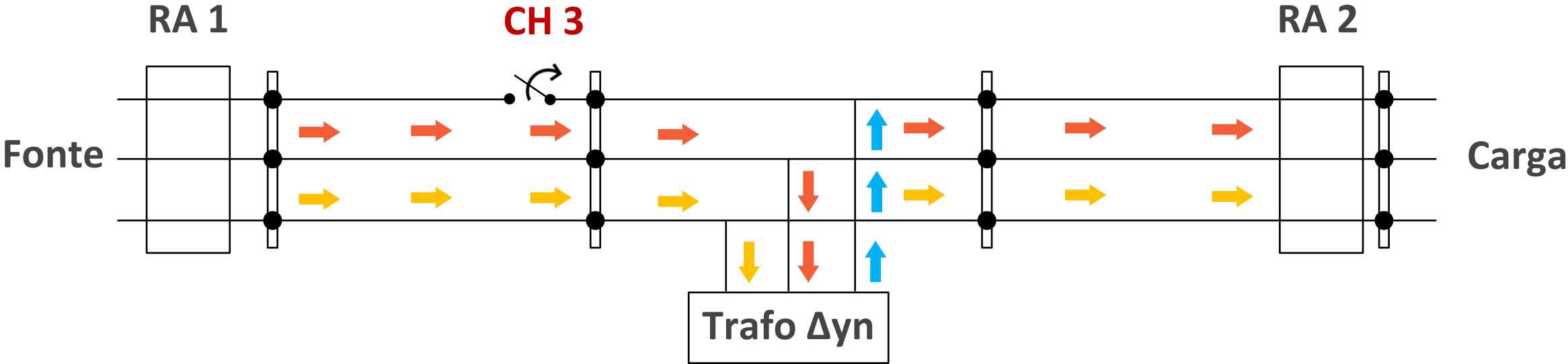
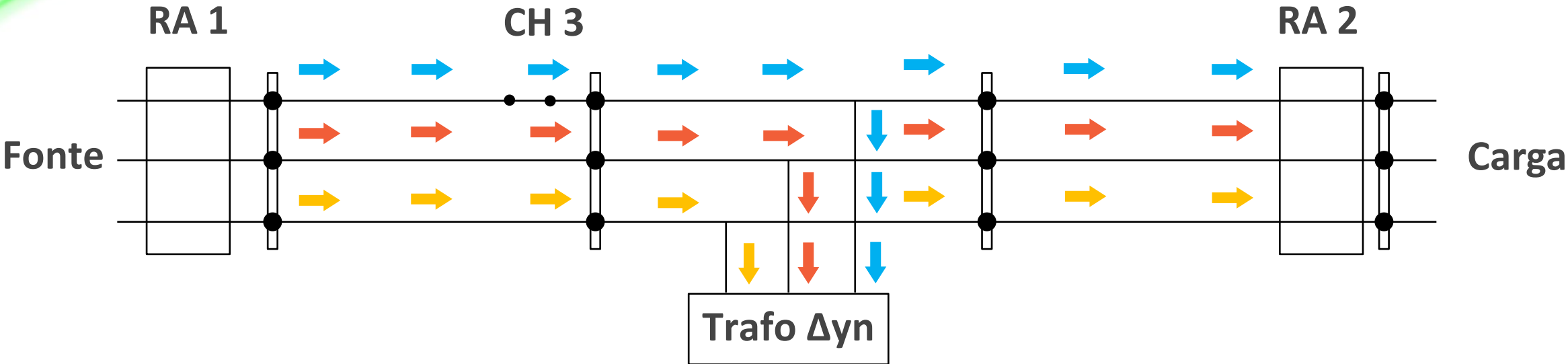
HostCompany:

**CEMIG**




# Análise da Aplicação

ñ l i Ÿ S l K i % K i l P K S l K P ã Δ Ÿ O l Ÿ Ÿ i ã ã Ÿ P K Ÿ Ÿ O % ã ã Ÿ



- Instalação de medidor de qualidade no secundário do transformador.
- Aberta uma das fases da chave de trecho **CH 3**.
- Secundário com alimentação das cargas trifásicas.
- Tensão primária apurada no ADMS:

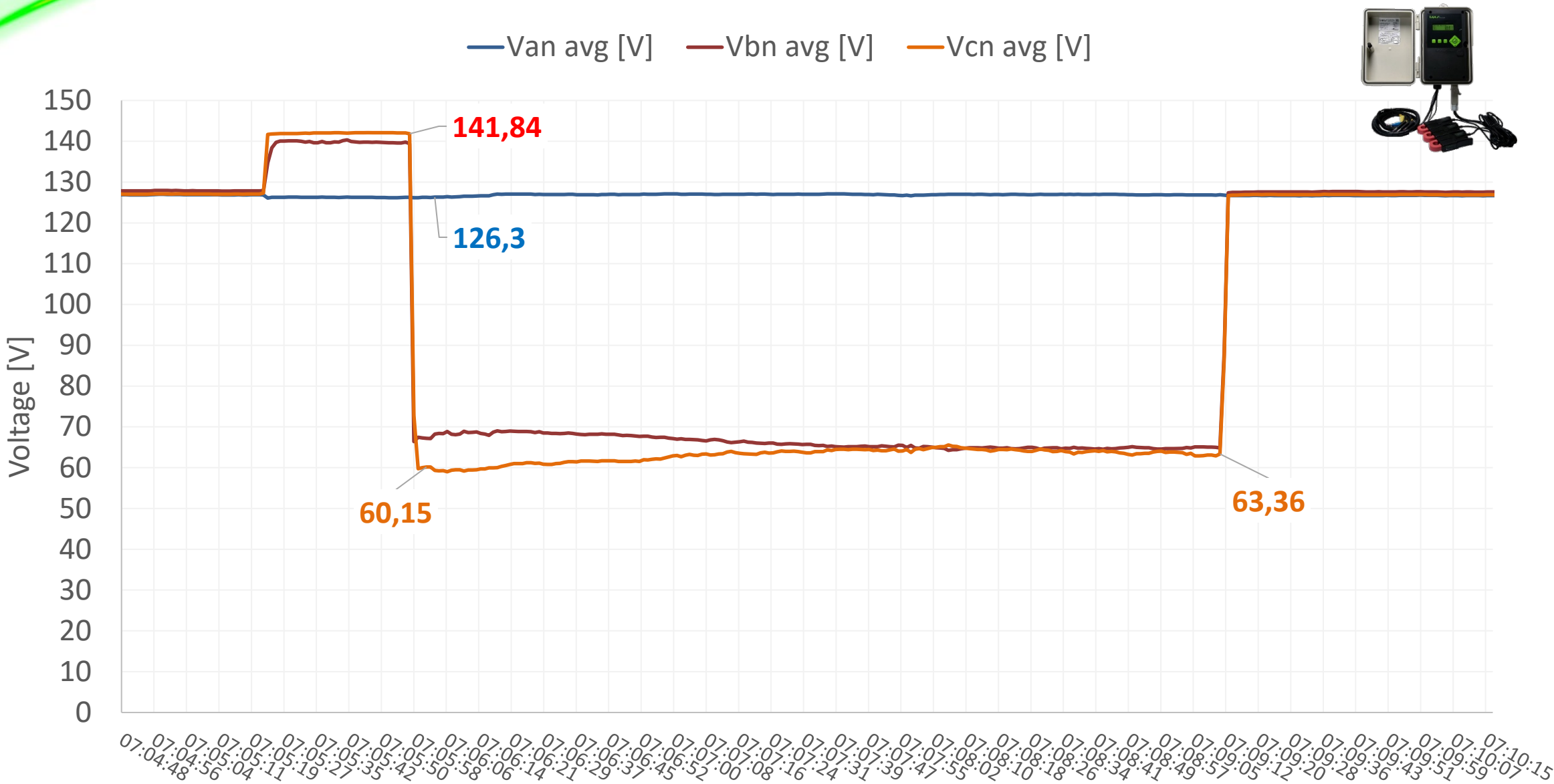
Calculation Signals			
Entradas:			
Nome	Valor	Sinalizadores	Qualidade
118955_KV_Az	7,383 kV		Boa
118955_KV_Br	6,491 kV		Boa
118955_KV_Vm	13,749 kV		Boa
118955_PERDAF	ALARME	 	Boa

Realization:

HostCompany:

# ! P l EYЖ i %! HBY %ā Hñ

ñ l i Y S l Ж i %Ж i l P Ж S l Ж P ñ “ l I Ъ P i l Yñ i ñ ‡ Y/P Жñ YO %ā ñ Y



\* Dados coletados com *timestamp* de 1 em 1 segundo

- Período inicial de sobretensão causado por possível geração no trecho;
- Queda em duas fases, de 127 V (1,0 pu) para 64 V (0,5 pu), e manutenção de uma das fases dentro do seu valor nominal;
- Validação em campo comprova as condições simuladas no ATP e desenvolvimento matemático:

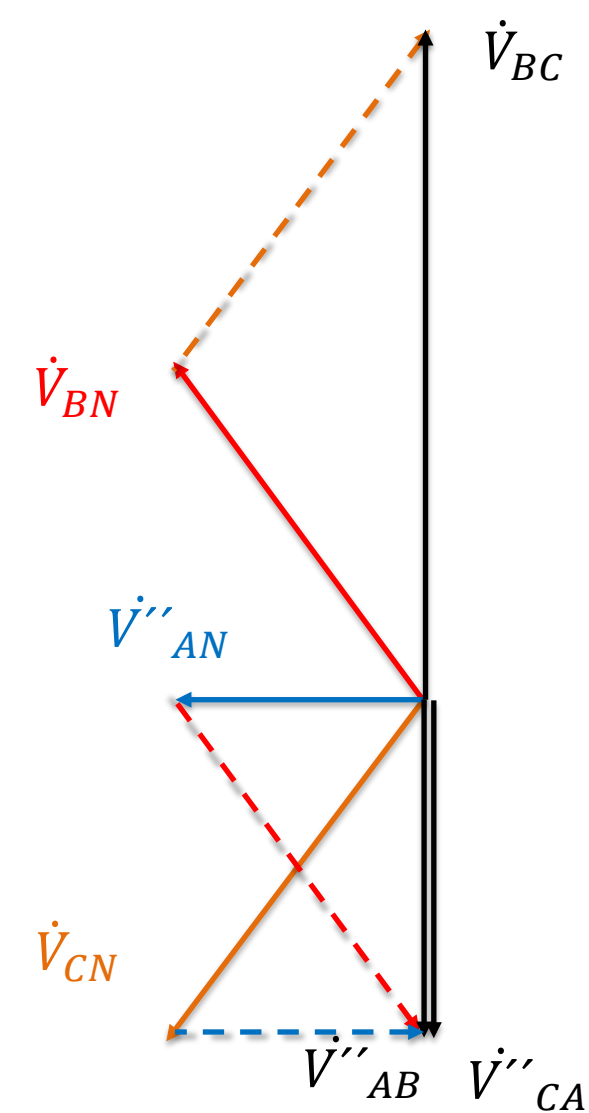
Sistema	Simulação ATP Draw (pu)	Medição Real (pu)	Erro (%)
MT	0,56	0,54	3,57
BT	0,52	0,50	3,84

Realization:

HostCompany:

# Desafios da Aplicação

αΩ ΗΒ/Δ Φη ΖΙ Ο ..Ι Γ ΥΟ Ι ΔΙ ΥΟ %ΡΙ ΡΦ é ΖΑΡΥ %ι Ι Ζ>ή ΡΖΟ Υ ή Υ%Κ-Α> Ζ



Padrão da UC	Combinações Possíveis	Condição
1Φ	AN	Interrupção
	BN	Normal
	CN	Normal
2Φ	BC	Normal
	BN	Normal
	CN	Normal
2Φ	AB	Interrupção
	NA	Interrupção
	BN	Normal
2Φ	CA	Interrupção
	NA	Interrupção
	CN	Normal
3Φ	ABCN	Interrupção

- Dificuldade em se obter o controle (registro em base) quanto as fases (A, B e C) entregues a cada UC na condição de abertura monopolar.
- Muitas UCs poderão ser supridas com tensão de 0,5 pu. Para a ANEEL, esse valor configura interrupção.
- O Fator de Desequilíbrio (FD) para clientes trifásicos é totalmente **inadmissível**.
- Equipamentos supridos com 0,5 pu e com o desequilíbrio previsto poderão ser danificados (aumento de custos de indenização).

Realization:

instituto  
**abradee**



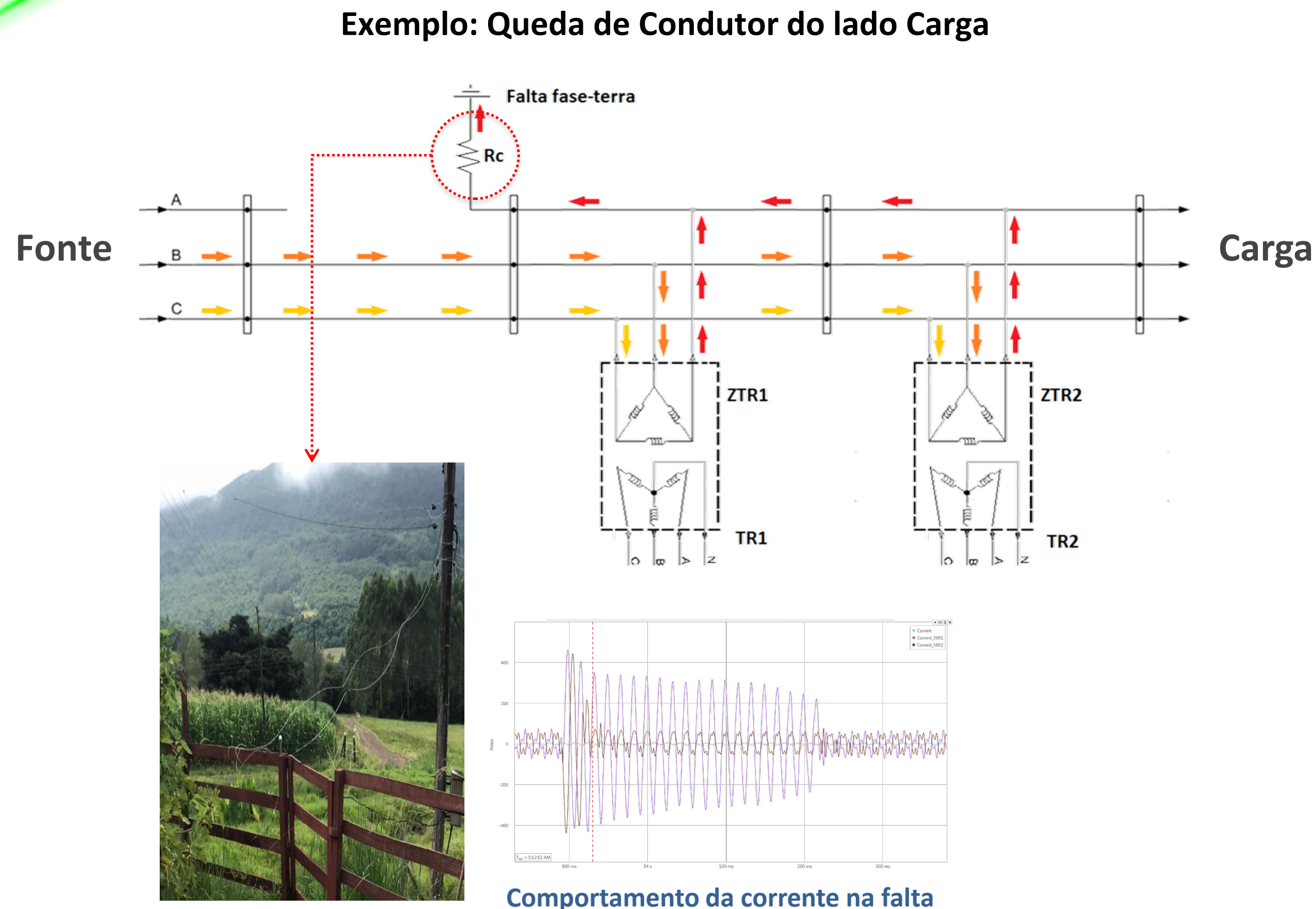
HostCompany:

**CEMIG**



# Exemplo: Queda de Condutor do lado Carga

Exemplo: Queda de Condutor do lado Carga



- Na análise das componentes simétricas, no curto-circuito Fase-Terra, as correntes de sequência positiva, negativa e zero são iguais, deste modo, a corrente de falta é igual a  $3I_0$
- Para os casos de aplicação da função ANSI 51GS, comumente utilizado nos equipamentos de proteção da CPFL, haverá atuação dos equipamentos com abertura trifásica à montante do ponto de abertura monofásica
- Caso desabilitado as proteções 51GS, para faltas com queda de condutores do lado carga, os transformadores realimentam a falta, gerando riscos de acidentes elétricos

Realization:

instituto  
**abradee**

HostCompany:

**CEMIG**



# >ήΟιΡΦϣϣЖfÿPc/oЖ

- Os equipamentos com abertura monopolar, também denominados Triple Single, possuem custo elevado, visto que possuem 3 atuadores e 3 placas de disparo (uma por fase).
- O Religador Triple Single precisam da instalação de transformadores monofásicos para sua operação, visto o risco de ressonância por retorno de fase no acoplamento.
- A abertura de somente uma fase afeta o acionamento do SEF (*Sensitive Earth Fault, ANSI 51GS*), visto a aparição de correntes de sequência negativa e zero na abertura monopolar.
- A abertura monopolar afeta a tensão de regime de alimentação das cargas trifásicas, podendo chegar a 0,52 pu da tensão nominal de fornecimento (para ANEEL, conforme PRODIST Módulo 8, sempre que a tensão de fornecimento for igual ou inferior a 70% da tensão nominal, considera-se que houve uma Interrupção Momentânea ou Temporária de Tensão).
- **Deste modo, indica-se que não sejam aplicados equipamentos com abertura monopolar para sistemas com circuitos elétricos trifásicos.**

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**





**OBRIGADO!**